Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 14, No. 5, Dec- Jan 2019, p. 847-864

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 14، شماره 5، آذر- دی 1397، ص. 864-847

تأثیر فرایند اکستروژن و شرایط انجماد بر کیفیت خمیر منجمد و کوکی تهیه شده از آرد سورگوم

نسیم حسن‌پور[1]- محبت محبی[2*]- آرش کوچکی[2]- الناز میلانی[3]

تاریخ دریافت: 1396/11/23
تاریخ پذیرش: 1397/04/16

چکیده

هدف از این تحقیق بررسی تأثیر روش‌های انجماد (کند و سریع) و مدت زمان نگهداری خمیر منجمد در شرایط انجماد بر کیفیت کوکی حاوی آرد سورگوم اکسترود شده و اکسترود نشده به‌منظور تولید یک محصول فاقد گلوتن و مناسب برای بیماران سلیاکی بود. نتایج نشان دادند که سرعت انجماد بر ویژگی‌های فیزیکو شیمیایی کوکی حاصل از خمیر منجمد مؤثر بوده، با افزایش سرعت انجماد میزان سفتی بافت و چسبندگی خمیر به‌طور معنی‌داری ($P\leq0.05$) کاهش یافت اما پیوستگی خمیر افزایش یافت. دمای ژلاتیناسیون افزایش و آنتالپی کل کاهش یافت، سرعت گسترش‌پذیری کوکی افزایش یافت، کوکی‌های حاصل بافت نرم‌تری داشتند ولی روشنایی کمتری نسبت نمونه‌های منجمد شده در شرایط انجماد کند داشتند. تخلخل بافت کوکی حاصل از خمیر منجمد افزایش یافت شد و قطر پوسته کوکی نیز افزایش پیدا کرد. با افزایش سرعت انجماد امتیاز، ویژگی‌های حسی نیز بهبود یافتند. با افزایش دوره نگهداری خمیر منجمد نسبت گسترش‌پذیری کوکی، تخلخل بافت و قطر پوسته کاهش پیدا کرد اما میزان سفتی بافت کوکی افزایش پیدا کرد. پارامتر *L و ضریب نفوذ مؤثر کوکی به‌طور معنی‌داری ($P\leq0.05$) کاهش یافت. در مجموع نتایج نشان دادند که فرآیند اکسترود کردن آرد سورگوم سبب بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی کوکی شده است و فرآیند انجماد سریع باعث بهبود کیفیت کوکی حاصل از خمیر منجمد شده است و می‌توان آز آرد سورگوم اکسترود شده به‌عنوان جایگزین مناسب گندم برای تولید کوکی استفاده کرد. همچنین استفاده از خمیر منجمد برای تولید کوکی می‌تواند روش مناسبی برای عرضه این محصول باشد.

واژه‌های کلیدی: آرد سورگوم، اکستروژن، انجماد، کنتیک انتقال جرم، کوکی

مقدمه

محصولات تازه نانوایی دارای عمر مفید کوتاهی هستند. در طول انبارداری تغییرات فیزیکی و شیمیایی در این محصولات رخ می‌دهد که منجر به فرآیندی شناخته شده به نام بیاتی می‌شود. از دست دادن تازگی و در مقابل ایجاد سفتی در مغز محصولات نانوایی و کاهش عطر و طعم باعث عدم پذیرش مصرف‌کننده می‌شود. از دست دادن رطوبت و ایجاد نشاسته واپس‌گرا شده دلیل سفتی مغز محصولات نانوایی است. در زمینه روش‌های کاربردی از جمله انجماد خمیر و تأثیر آن بر کیفیت محصول نهایی بسیار تحقیق شده است. اکنون علاقه بازار به سمت محصولات نانوایی منجمد شده است که دارای مزیت اقتصادی در تولید و توزیع و مطابق با استانداردهای کیفیت است که عبارت‌اند از نیاز کمتر به زمان و کارگر، عدم نیاز به کارگر متخصص، تسهیل متمرکزسازی تولید فراورده، سهولت کنترل و استانداردسازی تهیه و تولید فراورده، امکان تولید محصول در هر زمان، امکان اصلاح کیفیت آرد در مراکز تولید خمیر، کاهش هزینه‌های کارگری و تجهیزات، امکان انتقال راحت‌تر خمیر منجمد به مکان‌های دورتر مانند رستوران‌های محلی و مراکز خرده‌فروشی (Giannou *et al*., 2007; Koushki *et al*., 2011).

عمر نگهداری خمیر منجمد در صورتی که نقل و انتقال و انبارش آن در این شرایط به‌طور مناسب انجام گیرد، 8 تا 9 ماه برآورد می‌شود (Meziani *et al*., 2012). انجماد و نگهداری به حالت منجمد بر قابلیت زنده ماندن و توانایی تولید گاز توسط مخمر تأثیر به‌سزایی دارد؛ به‌طوری که کریستالیزه شدن یخ در ساختار خمیر منجمد، تمایل کریستال‌های کوچک یخ در تبدیل به کریستال‌های بزرگ‌تر جهت

1 و 2- به‌ترتیب دانشجوی دکتری و استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
3- استادیار، گروه پژوهشی فرآوری مواد غذایی، جهاددانشگاهی مشهد، مشهد، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: m-mohebbi@um.ac.ir)
DOI: 10.22067/ifstrj.v14i5.70942

کاهش سطح خود (کریستالیزه شدن مجدد) به‌خصوص ضمن نوسانات دمایی، موجب مرگ و میر سلول‌های مخمر و کاهش تولید گاز دی‌اکسیدکربن و آسیب به شبکه گلوتن می‌شود (Meziani *et al*., 2012; Nakamura *et al*., 2009).

کیفیت محصولات به‌دست آمده از خمیرهای منجمد به فرمول خمیر و شرایط تولید محصول (زمان مخلوط کردن، شرایط انجماد و ذوب، شرایط نگه‌داری و سرعت تخمیر) بستگی دارد. این فاکتورها گاه به‌صورت مستقل و گاه به‌صورت هم‌زمان باعث کاهش تولید دی‌اکسید کربن توسط مخمر و یا تخریب شبکه گلوتنی می‌شوند. برای غلبه بر این مشکل‌ها، از بهبوددهنده‌های مختلف در فرمول اولیه خمیر استفاده می‌شود (Herbert, 2006; Caray & Bemiller, 2003). از جمله این افزودنی‌ها می‌توان به اموسیفایرها، ترکیبات اکسیدکننده و هیدروکلوئیدها اشاره کرد.

هیدروکلوئیدها آنتالپی ذوب را کاهش می‌دهند. این امر به دلیل کاهش میزان آب قابل انجماد در اثر باند شدن آب آزاد توسط هیدروکلوئیدها می‌باشد، در نتیجه تشکیل بلور یخ کاهش پیدا می‌کند و در پی آن آسیب‌های ناشی از انجماد کمتر خواهد بود (Ribotta *et al*., 2004; Mandala, 2005; Kim *et al*., 2008; Matuda *et al*., 2008). همچنین در محصولات فاقد گلوتن به‌عنوان اجزاء پلیمری عمل کرده، در آب متورم شده، ساختاری معادل شبکه گلوتن در خمیر گندم، ایجاد می‌کنند و در نتیجه ویژگی‌های ویسکوالاستیک گلوتن در خمیر نان گندم را ایجاد می‌کنند (Gambus *et al*., 2007).

بیماری سلیاک، نوعی بیماری گوارشی است که به پرزهای روده کوچک آسیب می‌رساند و سبب اختلال در جذب مواد مغذی می‌شود. افرادی که به بیماری سلیاک مبتلا هستند پروتئین‌هایی مانند گلیادین گندم، سکالین چاودار، هوردنین جو و آونین یولاف را نمی‌توانند مصرف کنند (Gallagher *et al*, 2004). زمانی که بیماران مبتلا به سلیاک، غذاهای حاوی گلوتن مصرف می‌کنند، سیستم ایمنی بدن آن‌ها پاسخی را به‌صورت تخریب روده کوچک صادر می‌کند (Fasano & Catassi, 2001). از اینرو امروزه با توجه به این‌که تنها راه درمان این بیماری استفاده از یک رژیم غذایی بدون گلوتن است، مطالعات پیرامون تولید مواد غذایی بدون گلوتن به‌ویژه محصولات صنایع پخت که قوت غالب افراد جامعه را تشکیل می‌دهد از اهمیت زیادی برخوردار است. یکی از غلاتی که قابلیت استفاده در رژیم غذایی این افراد را دارد سورگوم می‌باشد.

سورگوم یکی از غلات مهم است و طبق آمار گزارش‌شده از 44 میلیون هکتار زمین در سال 2004 حدود 6 میلیون تن دانهٔ سورگوم برداشت شده است (FAO, 2004). اغلب در مناطق نیمه‌خشک رشد می‌کند و به‌عنوان یک محصول مهم در آفریقا (نیجریه، سودان، بورکینافاسو و اتیوپی)، آسیا (هند، چین و ایران) و قسمت‌های خشک مرکزی و جنوب امریکا (Dendy, 1995) محسوب می‌شود. در مناطق جنوب خراسان، سیستان و بلوچستان، کرمان، اصفهان، یزد، گیلان، مازندران و بنادر جنوبی به‌طور پراکنده وجود دارد. برآورد که شده است حدود 40 درصد از سورگوم تولیدشده در جهان، مصرف خوراکی برای انسان دارد (Rooney & Waniska, 2000). دانه سورگوم به لحاظ ارزش تغذیه‌ای معادل ارزن، ذرت، گندم و برنج و از لحاظ خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مشابه گندم است (Awika *et al*., 2004)، از سوی دیگر می‌توان خصوصیات غلات از جمله سورگوم را با استفاده از روش‌های فیزیکی و حرارتی اصلاح کرد از جمله این روش‌ها فرآیند اکستروژن می‌باشد که یک فرایند حرارتی است که شامل استفاده از حرارت و فشار بالا و نیروهای برشی به توده مواد خام مانند غلات است (Riha *et al*., 1996). از جمله مزایای اکسترود کردن هزینه پایین، زمان کوتاه، بهره‌وری بالا و صرفه‌جویی در مصرف انرژی است (Faraj *et al*., 2004). فرآیند اکسترود کردن سبب تولید محصولی با خصوصیات بافتی و تغذیه‌ای بهتر می‌شود. فرآیند اکستروژن در محصولات فاقد گلوتن سبب بهبود سطح پروتئین، فیبر و تولید نشاسته مقاوم در این نوع محصولات از طریق کنترل شرایط اکستروژن مانند درجه حرارت، سرعت خوراک‌دهی و دور مارپیچ می‌شود (Paykary *et al*., 2012). Ilo و همکاران (2000) عنوان کردند که طی فرآیند اکستروژن در رطوبت‌های پایین گرانول‌های نشاسته در هم گسیخته و ذوب شدند و در رطوبت‌های بالا گرانول‌های نشاسته متورم و ژلاتینه شد و از طرف دیگر فرآیند اکستروژن منجر به کاهش کریستالیتی نشاسته شد. Martínez و همکاران (2014) تأثیر فرآیند اکستروژن بر خصوصیات آرد گندم را مورد پژوهش قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که کمپلکس آمیلوز- لپید می‌تواند بر قابلیت هضم نشاسته اثر گذارد. در فرآیند اکستروژن به دلیل ژلاتینه شده نشاسته، شکستن گرانول‌های آن و باز شدن ساختار گرانول‌ها دسترسی آنزیم‌های هیدرولیتیک آسان‌تر شده و در نتیجه قابلیت هضم آن افزایش یافت.

با توجه به مطالعات انجام شده هدف از این تحقیق بررسی تأثیر سرعت انجماد (کند و سریع) و زمان نگهداری خمیر منجمد به مدت 8 هفته بر برخی خصوصیات فیزیک و شیمیایی کوکی حاصل از خمیر منجمد تهیه شده از آرد سورگوم اکسترود شده و اکسترود نشده با افزودن صمغ زانتان به منظور تولید کوکی فاقد گلوتن بود.

مواد و روش‌ها

سورگوم سفید از بازار محلی در زابل با رطوبت 10/34 درصد، صمغ زانتان از شرکت سیگما (آمریکا)، شورتنیگ (مارگارین مهگل، شرکت بهینه ذرین، تهران) دکستروز از شرکت Cargill – WJ (آلمان- اتریش) بی کربنات سدیم از شرکت کیمیا تهران و سایر مواد مانند شکر و نمک از بازار محلی مشهد خریداری شدند.

تهیه آرد سورگوم

سورگوم سفید، مورد استفاده در این مطالعه، از بازار محلی در زابل خریداری شد. دانه‌های سورگوم ابتدا به‌صورت دستی از لحاظ شکل، اندازه، شکسته و نابالغ بودن دانه، گرد و غبار، شن و ماسه، سنگ و دیگر مواد خارجی تمیز شدند. حدود 10 کیلوگرم سورگوم ابتدا با آب شسته شده، در آون (Memmert, 154 Beschickung- loading, Model 100-800) با دمای 38 درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی 58/27 درصد به مدت دو روز خشک شد. در مرحله بعد با استفاده از آسیاب سایشی آزمایشگاهی و مش 0/599 میلی‌متر عمل آرد کردن صورت گرفت و در نهایت آرد سورگوم به‌دست آمده که حاوی 9 درصد رطوبت، 10/5 درصد پروتئین، 3/25 درصد چربی و 1/64 درصد خاکستر بود در کیسه‌های پلی‌اتیلن بسته‌بندی و در یخچال نگهداری شدند. به‌منظور فرایند اکسترود کردن از دستگاه اکسترودر (دو مارپیچ با چرخش هم‌جهت مدل Saxin Jinan ،DS56، چین) با دمای 5±150 درجه سانتی‌گراد، رطوبت 14 درصد، سرعت 150 دور در دقیقه، خوراک‌دهی 40 گرم در دقیقه و ماتریس دایره‌ای به قطر 5 میلی‌متر استفاده شد و در مرحله آخر با استفاده از آسیاب سایشی و مش 0/599 میلی‌متر عمل آرد کردن صورت گرفت و در نهایت آرد سورگوم به‌دست آمده در کیسه‌های پلی‌اتیلن بسته‌بندی و در یخچال نگهداری شدند (Jafari *et al*., 2017).

آماده‌سازی خمیر کوکی

ترکیبات تشکیل‌دهنده خمیر کوکی شامل شکر (27/51 درصد)، شورتنینگ (مارگارین) (13/54 درصد)، محلول دکستروز (6/98 درصد، 9/8 گرم دکستروز در 150 میلی‌لیتر آب مقطر)، بی‌کربنات سدیم (0/53 درصد)، نمک (0/44 درصد)، آب به میزان لازم (بر اساس جذب آب فارینوگراف) بود (Guptaa *et al*., 2011). در این پژوهش آرد سورگوم به‌صورت اکسترود شده و غیراکسترود به‌صورت 100 درصد جایگزین آرد گندم شد. هم‌چنین از صمغ زانتان به نسبت 1/0 درصد وزنی/ وزنی استفاده شد. کلیه مواد تشکیل‌دهنده فرمولاسیون به دقت وزن شدند و به کمک دستگاه مخلوط‌کن (مایسون، MFP-740S، چین) در دمای اتاق به‌خوبی مخلوط شدند. ابتدا شورتنینگ (مارگارین)، نمک و سدیم کربنات با سرعت پایین به مدت 3 دقیقه مخلوط و سپس محلول دکستروز و آب مقطر به مخلوط اضافه شد و به مدت 1 دقیقه با سرعت پایین و 1 دقیقه با سرعت متوسط مخلوط شدند و در نهایت آرد به‌صورت کامل به مخلوط اضافه شد و به مدت 2 دقیقه با سرعت پایین مخلوط شدند. بعد از عمل مخلوط شدن، شش قسمت خمیر (35 گرم) بر روی سینی تفلون چرب شده قرار گرفته، به کمک وردنه تا ضخامت 0/7 سانتی‌متر نازک شدند و در آخر به کمک قالب دایره‌ای شکل به قطر 6 سانتی‌متر خمیر برش خورد و خمیر اضافی جدا و در نهایت وزن کوکی‌ها ثبت شد (Guptaa *et al*., 2011).

عملیات انجماد

دو نوع انجماد کند و انجماد سریع به‌منظور منجمد کردن خمیر مورد استفاده قرار گرفت. انجماد کند بر اساس روش ارائه شده توسط X.u و همکاران (2009) و Ke و همکاران (2013) انجام شد برای این منظور خمیر کوکی‌های برش داده شده به قطر 6 سانتی‌متر و ضخامت 0/7 سانتی‌متر بر روی یک سینی پوشیده شده با فویل آلومینیوم قرار گرفتند و سپس با فویل آلومینیوم پوشیده شدند و در یک فریزر معمولی با دمای 20- درجه سانتی‌گراد به مدت 48 ساعت منجمد شدند. در روش انجماد سریع از اتاق‌های انجماد سریع با دمای 40- درجه سانتی‌گراد به مدت 30 دقیقه استفاده شد (غیور و همکاران، 1387).

نگهداری خمیر طی انجماد

پس از فرایند انجماد، نمونه‌ها در داخل کیسه‌های پلی‌اتیلنی قرار داده شدند و به مدت صفر، 2، 4، 6 و 8 هفته در سردخانه با دمای 18- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند (X.u *et al*., 2009).

خروج از انجماد و پخت نمونه‌ها

برای فرآیند خروج از انجماد، قطعه‌های خمیر در یخچال با دمای 4 درجه سانتی‌گراد به مدت 16 ساعت قرار داده شدند (مزیانی و همکاران، 2012). بعد از هر چرخه یک نمونه برداشته شد و در دستگاه ماکروویو (الجی، SD–WCR3853) با دمای 180 درجه سانتی‌گراد به مدت 14 دقیقه عمل پخت صورت گرفت. سپس در دمای اتاق سرد و برای آنالیز مورد استفاده قرار گرفتند.

اندازه‌گیری خصوصیات بافتی خمیر و کوکی

مقدار سفتی و چسبندگی و پیوستگی خمیر کوکی به‌وسیله دستگاه سنجش بافت (TA. XTplus, UK) اندازه‌گیری شد. آزمون TPA با استفاده از پروب استوانه‌ای به قطر 6 میلی‌متر انجام شد. میزان نفوذ پروب به داخل بافت نمونه 2 میلی‌متر بود. این عمل در 3 تکرار در دمای 20 درجه سانتی‌گراد با میزان بارگذاری 5 کیلوگرم، سرعت قبل آزمون 1 میلی‌متر در ثانیه، سرعت آزمون 2 میلی‌متر در ثانیه و سرعت بعد از آزمون 10 میلی‌متر در ثانیه انجام شد و پارامترهای پیوستگی، چسبندگی و سفتی بافت خمیر اندازه‌گیری شد (Walker *et al*., 2012).

اندازه‌گیری دمای ژلاتیناسیون و آنتالپی کل خمیر کوکی حاصل از خمیر منجمد

به‌منظور اندازه‌گیری ویژگی‌های حرارتی از دستگاه DSC (DSC

(204 F1 Phoenix_, Germany) استفاده شد. برای این منظور حدود 12 میلی‌گرم نمونه ابتدا تا دمای 7 درجه سانتی‌گراد سرد شد و سپس تا دمای 157 درجه سانتی‌گراد با سرعت حرارت‌دهی 10 درجه سانتی‌گراد در دقیقه حرارت دید (Ribotta *et al*., 2004). با استفاده از ترموگرام‌های به‌دست‌آمده دمای‌گذار شیشه‌ای و آنتالپی ژلاتیناسیون اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری نسبت گسترش‌پذیری

نسبت گسترش کوکی با استفاده روش AACC 10-52 (AACC, 2000) اندازه‌گیری شد. برای این منظور 6 عدد کوکی لبه به لبه در کنار هم قرار گرفتند و قطر کل آن‌ها اندازه‌گیری شد، سپس کوکی‌ها 90 درجه چرخانده شدند و مجدد قطر کوکی‌ها اندازه‌گیری شد و مقدار میانگین دو اندازه‌گیری محاسبه شد. اندازه‌گیری اول میانگین قطر و اندازه‌گیری دوم میانگین ضخامت کوکی‌ها است. نسبت این دو نشان‌دهنده نسبت گسترش‌پذیری است (Jia *et al*., 2011).

اندازه‌گیری سفتی بافت کوکی

به‌منظور اندازه‌گیری سفتی بافت بعد از پخت از دستگاه سنجش بافت استفاده شد. برای این منظور از پروب استوانه‌ای به قطر 5 میلی‌متر استفاده شد. سرعت قبل آزمون 1 میلی‌متر در ثانیه، سرعت آزمون 0/5 میلی‌متر در ثانیه و عمق نفوذ 5 میلی‌متر و میزان بارگذاری 50 کیلوگرم بود (Bassinello *et al*., 2011).

اندازه‌گیری رنگ

رنگ و پارامترهای بافت تصویر با استفاده از پردازش تصویر اندازه‌گیری شد. روش کار شامل تنظیم سیستم نورپردازی و استفاده از دوربین با وضوح (Canon EOS 1000D, Taiwan) تصاویر بالا و نرم‌افزارهای فتوشاپ (Adobe, v.8.0) و ایمیج جی (ImageJ) نسخه 1,43r برای به‌دست آوردن پارامترهای رنگ بود (Naji-Tabasi & Mohebbi, 2014).

اندازه‌گیری تخلخل و قطر پوسته کوکی

برای ارزیابی میزان تخلخل مغز کوکی از تکنیک پردازش تصویر استفاده شد. بدین منظور برشی به ابعاد 2 در 2 سانتی‌متر از مغز کوکی تهیه گردید و به‌وسیله دوربین با وضوح تصاویر بالا، تصویربَرداری انجام شد. سپس تصویر تهیه شده در اختیار نرم‌افزار Image J نسخه 1/43r قرار گرفت. اساس استفاده از تصاویر دیجیتال در اندازه‌گیری تخلخل بر این پایه استوار شده است که تصاویر رنگی وارد فضای 8 بیتی شده، سپس به روش آستانه‌گیری، حفرات بافت مورد نظر شناسایی می‌شوند و آنگاه نسبت مساحت حفرات به مساحت کل بیانگر تخلخل خواهد بود (قیطران پور، 1392). جهت اندازه‌گیری ضخامت پوسته کوکی، ابتدا برش‌هایی از مقطع عرضی کوکی تهیه و تصاویر دیجیتال از آن‌ها گرفته شد. به‌منظور تبدیل واحد پیکسل به میلی‌متر قبل از تهیه عکس‌ها، یک قطعه با ابعاد مشخص در کنار نمونه قرار گرفت. سپس عکس‌ها وارد نرم‌افزار Image J شدند و ابتدا طول قطعه‌هایی که ابعاد مشخص داشت در واحد پیکسل اندازه‌گیری و نسبت تبدیل آن به میلی‌متر به‌دست آمد بعد از این مرحله، ضخامت پوسته نمونه‌های مختلف اندازه‌گیری شد (قیطران‌پور، 1392).

ارزیابی حسی

برای انجام ارزیابی حسی از 20 نفر داور استفاده می‌شود و ارزیابی حسی به روش هدونیک 5 نقطه انجام می‌شود. ویژگی‌های حسی مورد ارزیابی شامل رنگ، تردی، تخلخل، آروما و طعم و پذیرش کلی کوکی‌ها بود (Ronda *et al*., 2005).

بررسی و اندازه‌گیری کینتیک افت رطوبت در حین پخت

به‌منظور بررسی کینتیک افت رطوبت، ابتدا میزان رطوبت خمیر تازه و خمیر منجمد کوکی (با انجماد تند و کند) قبل از قرار گرفتن درون فر مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. سپس عمل پخت خمیر درون دستگاه ماکروویو (الجی، SD–WCR3853) با دمای 180 درجه سانتی‌گراد به مدت 14 دقیقه صورت گرفت و میزان کاهش رطوبت هر 2 دقیقه مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.

اندازه‌گیری ضریب نفوذ رطوبت

برای تشریح فرایند پخت نان حاصل از خمیر تازه و منجمد و بررسی ضریب نفوذ رطوبت از قانون دوم فیک استفاده شد. برای آنالیز ریاضی، خمیر به‌عنوان یک تیغه نامتناهی در نظر گرفته شد. اثرات شیب حرارتی بر روی ضریب نفوذ حرارتی نادیده گرفته شد. همچنین فرض شد که انتقال رطوبت تنها از یک بعد صورت می‌گیرد. در این شرایط انتقال رطوبت در داخل را می‌توان توسط قانون دوم فیک توصیف کرد.

$$dx/dt=D.d^2X/dz \quad (1)$$

که X برابر میزان رطوبت (کیلوگرم آب به کیلوگرم ماده خشک)، D برابر با ضریب نفوذ رطوبت (m^2/s)، t در این معادله زمان به ثانیه و z فاصله انتشار یا ضخامت برای نفوذ رطوبت می‌باشد.

فرایند نفوذ را می‌توان با استفاده از قانون فیک به‌صورت ریاضی توصیف کرد. روش‌های تحلیلی برای حل معادله قانون دوم فیک در بسیاری از منابع ارائه شده که توسط (کرانک، 1975) با در نظر گرفتن هندسه ماده غذایی و شرایط مرزی بیان گردیده است (ساکین و همکاران 2007).

$$M_r = \frac{M-M_e}{M_0-M_e} = \frac{8}{\pi}\sum_{n=0}^{\infty}\frac{1}{(2n+1)^2} exp\left[(-2n+1)^2 \frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right] \quad (2)$$

که M میزان رطوبت بر پایه ماده خشک در هر زمان، Me و M0 نشان‌دهنده میزان رطوبت تعادلی و رطوبت اولیه بر پایه ماده خشک، D ضریب نفوذ مؤثر رطوبت یا نفوذپذیری رطوبت و 1 برابر با ضخامت نمونه می‌باشد.

رطوبت تعادلی، رطوبتی است که فرایند کاهش وزن در دمای موردمطالعه متوقف شده باشد. این معادله را می‌توان با بسیار کوچک در نظر گرفتن Me خلاصه کرد (ساکین و همکاران 2007):

$$MR = \frac{M}{M_0} = \frac{8}{\pi}\exp\left(-\frac{\pi^2 D_{\text{eff}} t}{4L^2}\right) = \frac{8}{\pi}\exp(-kt) \quad (3)$$

K ثابت سرعت انتشار رطوبت و L ضخامت تیغه می‌باشد که چون حجم خمیر طی پخت تغییر می‌کند، L میانگین ارتفاع خمیر در نظر گرفته می‌شود (ساکنین و همکاران، 2007).

در ابتدا با استفاده از داده‌های تجربی، نسبت رطوبت (MR) برای همه نمونه‌ها در هر 2 دقیقه محاسبه گردید. به‌منظور محاسبه ضریب نفوذ مؤثر، ابتدا نمودار Ln(MR)– در برابر زمان رسم شد و مقدار ثابت سرعت افت رطوبت یا همان K از شیب نمودار به‌دست آمد و با استفاده از رابطه ضریب نفوذ مؤثر محاسبه گردید:

$$D_{\text{eff}} = \frac{4KL^2}{\pi^2} \quad (4)$$

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تجزیه و تحلیل آماری نتایج با استفاده از آزمون فاکتوریل طرح کاملاً تصادفی و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح 5% انجام شد. هم‌چنین آنالیز داده‌ها با سه تکرار و با استفاده از نرم‌افزار Spss 18 انجام شد.

نتایج و بحث

خواص بافتی خمیر کوکی طی دوره نگهداری و شرایط مختلف انجماد

تأثیر دوره نگهداری بر خواص بافتی خمیر منجمد کوکی در شرایط مختلف انجماد در جدول 1 نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش زمان نگهداری خمیر منجمد کوکی میزان سفتی بافت و چسبندگی خمیر به‌طور معنی‌داری ($P \leq 0.05$) افزایش یافتند اما پیوستگی خمیر کاهش یافت. علت افزایش سفتی نمونه‌ها طی 8 هفته نگهداری کاهش الاستیسته خمیر منجمد، به دلیل آسیب به بافت خمیر و گرانول‌های نشاسته توسط کریستال‌های یخ می‌باشد زیرا طی دوره نگهداری کریستال‌های یخ رشد می‌کنند و بزرگ‌تر می‌شوند (Havet *et al*., 2000).

جدول 1- تأثیر دوره نگهداری و شرایط انجماد بر خواص بافتی خمیر

نوع انجماد	تیمار	مدت زمان نگهداری طی انجماد (روز)	چسبندگی خمیر (N.m)	پیوستگی خمیر (N.m)	سفتی خمیر (N/m)
انجماد کند	سورگوم	0	-1.92E-05±9.35E-07e	4.27E-05±7.32E-07e	772.719±16.725e
		14	-1.73E-05±9.31E-07f	4.01E-05±9.26E-07f	789.372±5.763d
		28	-1.60E-05±9.23E-07g	3.64E-05±8.36E-07h	821.262±7.548c
		42	-1.47E-05±9.83E-07h	3.27E-05±9.37E-07i	847.272±6.935b
		56	-1.41E-05±8.32E-07h	3.13E-05±9.36E-07j	879.262±9.541a
	سورگوم اکسترود شده	0	-2.31E-05±9.21E-07b	4.74E-05±7.65E-07b	712.534±11.348g
		14	-2.18E-05±9.21E-07c	4.48E-05±6.39E-07d	732.982±14.482f
		28	-2.06E-05±9.28E-07d	4.13E-05±7.21E-07e	762.816±12.628e
		42	-1.81E-05±9.38E-07f	3.85E-05±9.37E-07g	801.134±8.395d
		56	-1.73E-05±8.13E-07f	3.51E-05±9.37E-07h	823.918±15.936c
انجماد سریع	سورگوم	0	-2.08E-05±9.11E-07d	4.43E-05±8.32E-07d	713.833±5.375g
		14	-1.82E-05±9.83E-07f	4.21E-05±9.76E-07e	742.859±14.625f
		28	-1.63E-05±9.53E-07g	4.03E-05±6.48E-07f	798.847±14.271d
		42	-1.46E-05±9.53E-07h	3.86E-05±8.42E-07g	826.948±11.826c
		56	-1.31E-05±8.92E-07i	3.54E-05±9.17E-07h	845.958±8.931b
	سورگوم اکسترود شده	0	-2.42E-05±9.93E-07a	4.91E-05±8.32E-07a	673.834±8.418i
		14	-2.28E-05±8.19E-07b	4.76E-05±6.93E-07b	694.738±10.648h
		28	-2.16E-05±9.19E-07c	4.53E-05±6.93E-07c	712.947±12.735g
		42	-1.97E-05±9.35E-07e	4.13E-05±7.21E-07e	742.948±14.642f
		56	-1.75E-05±9.38E-07f	4.02E-05±8.37E-07f	794.276±10.248d

حروف آماری مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای مختلف است

Meziani و همکاران (2012) نیز عنوان کردند که مدت زمان نگهداری در شرایط انجماد، بر سفتی، ارتجاعیت و چسبندگی نان

شیرین تأثیر منفی داشت. با افزایش سرعت انجماد میزان سفتی بافت و چسبندگی خمیر به‌طور معنی‌داری ($P\leq0.05$) کاهش یافت اما پیوستگی خمیر افزایش یافت. در انجماد سریع به دلیل تشکیل کریستال‌های ریز یخ و کریستال‌های یکنواخت‌تر آسیب کمتری به بافت خمیر و گرانول‌های نشاسته وارد می‌کند و در نتیجه ویژگی‌های بافتی خمیر صدمه کمتری پیدا کردند. نمونه‌های حاوی آرد سورگوم اکسترود شده سفتی بافت و چسبندگی کمتر و پیوستگی بیشتری نسبت به سایر نمونه‌ها داشتند و نمونه‌های حاوی آرد سورگوم غیر اکسترود دارای بیشترین مقدار سفتی و چسبندگی و کمترین میزان پیوستگی بود

دمای ژلاتیناسیون و آنتالپی کل خمیر کوکی طی دوره نگهداری و شرایط مختلف انجماد

تأثیر دوره نگهداری و شرایط مختلف انجماد بر دمای ژلاتیناسیون و آنتالپی کل خمیر منجمد کوکی در جدول 2 مشاهده می‌شود. با افزایش زمان نگهداری خمیر منجمد کوکی دمای ژلاتیناسیون کاهش یافت و آنتالپی کل به‌طور معنی‌داری ($P\leq0.05$) افزایش یافت. نتایج نشان می‌دهد که نمونه کوکی منجمد شده تحت شرایط انجماد سریع به‌طور معنی‌داری ($P\leq0.05$) دمای ژلاتیناسیون بالاتر و آنتالپی کل پایین‌تری داشتند.

جدول 2- تأثیر دوره نگهداری و شرایط انجماد بر دمای ژلاتیناسیون و آنتالپی کل خمیر منجمد کوکی

نوع انجماد	تیمار	مدت زمان نگهداری طی انجماد (روز)	دمای ژلاتیناسیون (°C)	آنتالپی (J/g)
انجماد کند	سورگوم	0	73/2±1/24d	521/69±16/48d
		14	69/3±1/54de	547/39±16/38c
		28	65/5±1/43e	582/71±15/37b
		42	62/8±1/07e	621/75±6/87ab
		56	58/4±1/48ef	630/29±15/85a
	سورگوم اکسترود شده	0	102/2±0/87ab	382/21±14/29fg
		14	96/3±0/79b	410/72±12/83f
		28	90/4±1/23bc	437/97±14/86ef
		42	88/1±0/94c	489/43±28/29e
		56	85/4±0/48c	513/76±24/29de
انجماد سریع	سورگوم	0	76/5±1/21d	502/34±21/43e
		14	71/8±1/03d	521/86±22/31d
		28	68/4±1/13de	562/12±12/45bc
		42	65/2±1/35e	593/26±15/36b
		56	60/1±0/58e	613/27±16/44ab
	سورگوم اکسترود شده	0	106/3±0/87a	352/67±33/24gh
		14	101/4±0/91ab	379/35±31/23g
		28	96/3±0/54b	410/32±13/23f
		42	90/2±0/86bc	452/38±21/56ef
		56	87/5±1/22c	462/18±32/1e

حروف آماری مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای مختلف است

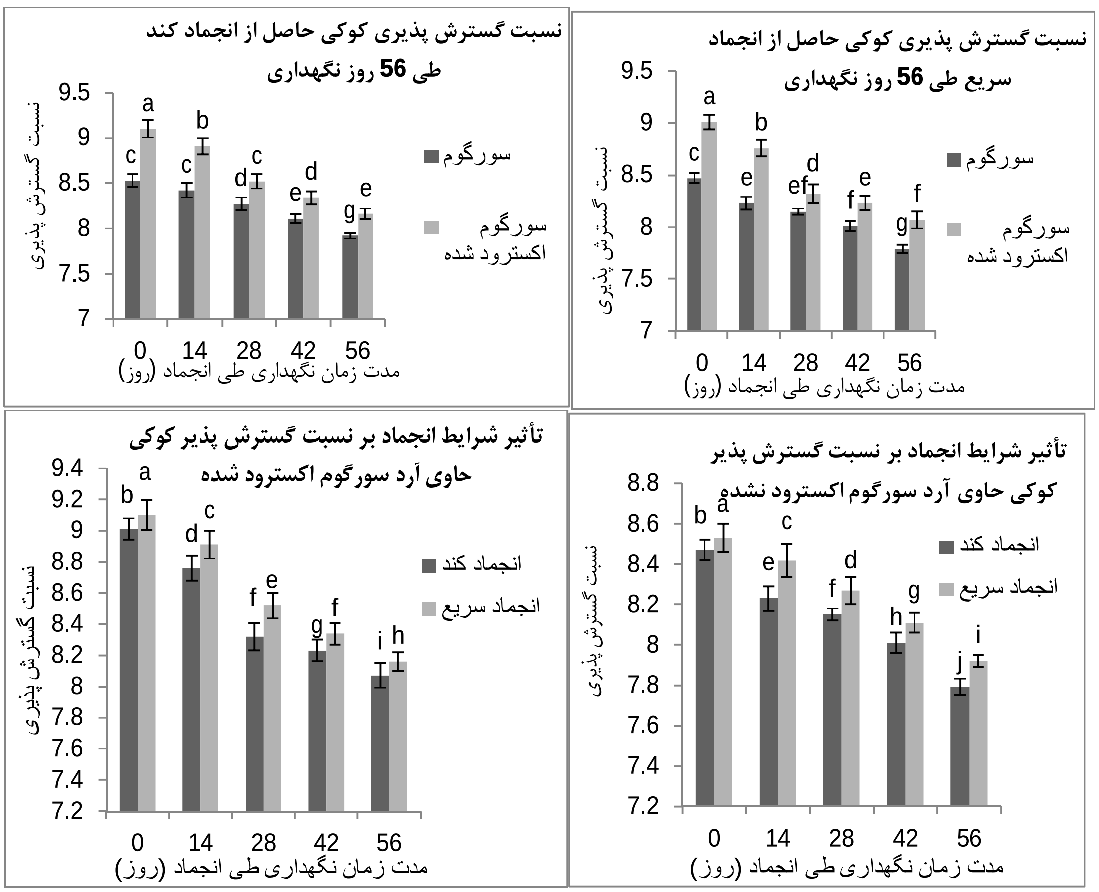
طی فرآیند انجماد سریع کریستال‌های یخ کوچک‌تر و یکنواخت‌تری ایجاد می‌شود و در نتیجه آسیب به بافت خمیر و گرانول‌های نشاسته کمتر اتفاق می‌افتد و میزان آب قابل اتصال خمیر بعد از انجمادزدایی افزایش می‌یابد (X.u *et al.*, 2009) و همین امر سبب کاهش واپس‌گرایی نشاسته می‌شود.

طی دوره نگهداری خمیر منجمد کوکی به مدت 8 هفته نمونه‌های حاوی آرد سورگوم اکسترود شده دمای ژلاتیناسیون بالاتر و آنتالپی کل پایین‌تری داشت. در واقع در این نوع تیمار به علت حضور مقدار بیشتر رطوبت در اثر فرآیند اکسترود کردن و افزودن صمغ زانتان سبب کاهش پیوستن زنجیره‌های آمیلوز و رسوب آن‌ها و در نهایت منجر به واپس‌گرایی می‌شود به عبارتی علاوه بر نگهداری رطوبت و کاهش سفتی باعث کاهش واپس‌گرایی نیز می‌شود و در مجموع از بیاتی می‌کاهد (Gray & Bemiller, 2003). در مقابل کوکی‌های حاوی 100 درصد آرد سورگوم اکسترود نشده دمای ژلاتیناسیون پایین‌تر و آنتالپی کل بالاتری داشتند. به علت عدم حضور شبکه گلوتن آسیب بیشتری در نتیجه تشکیل کریستال‌های یخ

و تبلور مجدد آن‌ها طی فرآیند انجماد و دوره نگهداری در شرایط انجماد می‌بیند و همین امر سبب می‌شود تا این نوع خمیر آنتالپی کل بالاتر یا به عبارتی واپس‌گرایی بیشتری داشته باشد، البته صمغ زانتان از طریق افزایش آب قابل اتصال این ویژگی را بهبود بخشید (Ktina *et al.*, 2006).

نسبت گسترش‌پذیری کوکی حاصل از خمیر منجمد طی دوره نگهداری

شکل 1 تأثیر دوره نگهداری را نسبت گسترش‌پذیری کوکی حاصل از خمیر منجمد را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش دوره نگهداری نسبت گسترش‌پذیر کوکی به‌طور معنی‌داری ($P\leq0.05$) کاهش یافت. طی دوره نگهداری به دلیل رشد کریستال‌های یخ و بزرگ‌تر شدن اندازه کریستال‌های یخ بافت خمیر و گرانول‌های نشاسته آسیب می‌بینند و بعد از انجماد زدایی آب آزاد بیشتری از نمونه خارج می‌شود و میزان آب قابل اتصال کاهش می‌یابد و در نتیجه بعد از پخت رطوبت کمتری از کوکی‌ها به حالت بخار خارج می‌شود و تخلخل و نسبت گسترش‌پذیری کاهش می‌یابد. سرعت انجماد نیز تأثیر معنی‌داری بر این ویژگی داشت به‌طوری که با افزایش سرعت انجماد سرعت گسترش‌پذیری افزایش یافت. در واقع انجماد سریع از طریق ایجاد کریستال‌های یخ کوچک‌تر و یکنواخت‌تر آسیب کمتری با ساختار بافت خمیر و گرانول‌های نشاسته وارد می‌کند.



شکل 1- نسبت گسترش‌پذیری کوکی حاصل از خمیر منجمد طی دوره نگهداری در شرایط انجماد و شرایط مختلف انجماد.

تیرک‌های ترسیم شده روی نقاط، نشان‌دهنده انحراف استاندارد داده‌های اندازه‌گیری شده است. حروف آماری مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای مختلف است.

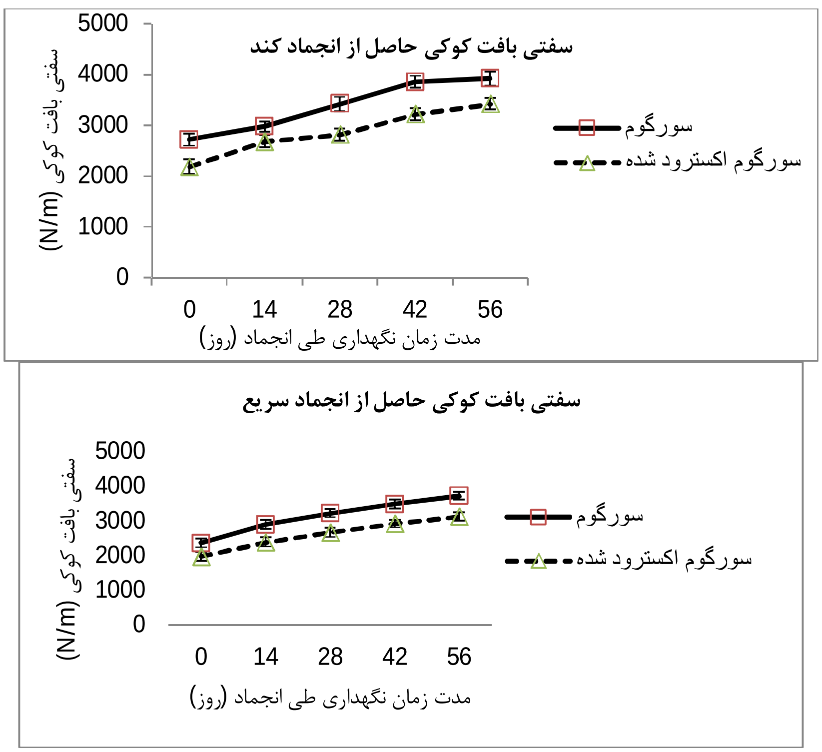
همان‌طور که در شکل 1 مشاهده می‌شود کوکی‌های حاصل از آرد سورگوم اکسترود شده طی دوره نگهداری 8 هفته‌ای نسبت گسترش‌پذیری بالاتری ($P\leq0.05$) نسبت سایر نمونه‌ها داشت و نمونه‌های حاوی آرد سورگوم اکسترود نشده پایین‌ترین میزان نسبت گسترش‌پذیری را دارا بود. فرآیند اکستروژن از طریق افزایش اندیس جذب آب خمیر سبب بهبود نسبت گسترش‌پذیری کوکی حاصل از

خمیر منجمد می‌شود و آرد سورگوم اکسترود نشده به دلیل رطوبت پایین و عدم حضور گلوتن نسبت گسترش‌پذیری پایین‌تری دارد. همچنین حضور صمغ زانتان از نظر بهبود ویژگی حفظ رطوبت، کنترل تحرک آب و جلوگیری از رشد کریستال‌های یخ بر نسبت گسترش‌پذیر کوکی مؤثر بود Yi.و Kerr (2008) سرعت انجماد، زمان و دمای نگهداری خمیر منجمد و ویژگی‌های پخت آن را مطالعه کردند. نتایج نشان داد که خمیر نگهداری شده در دماهای 35- و 30- درجه سانتی‌گراد حداقل آسیب را به شبکه گلوتن وارد کردند. نسبت گسترش‌پذیری قرص نان با افزایش زمان نگهداری کاهش یافت و خمیر نگهداری شده در دمای 20– درجه سانتی‌گراد بیشترین نسبت گسترش‌پذیری قرص نان را داشت. بافت نان نگهداری شده در دماهای 35- و 30- درجه سانتی‌گراد در طول دوره نگهداری تغییرات کمتری داشت.

Asghar و همکاران (2007) تأثیر صمغ‌ها بر پایداری و ماندگاری خمیر منجمد نان را مورد بررسی قرار دادند. خمیر نان حاوی صمغ‌ها در سطح‌های گوناگون در فریزر با دمای 18- درجه سانتی‌گراد منجمد شده، سپس به مدت 60 روز در شرایط انجماد نگهداری شدند. صمغ‌های عربی و کربوکسی‌متیل سلولز به‌منظور افزایش ماندگاری خمیر منجمد نان استفاده شدند. نسب گسترش‌پذیر نان حجیم به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر صمغ‌های بود و افزودن این صمغ‌ها سبب بهبود حجم مخصوص نان شد. نگهداری خمیر منجمد تأثیر منفی بر حجم قرص نان داشت اما افزودن 3 درصد صمغ عربی تأثیر مطلوبی بر حجم قرص نان و رطوبت خمیر منجمد نان داشت. Kim و همکاران (2008) تأثیر تره هالوز، ترانس گلوتامیناز و صمغ لوبیای لوکاست در خمیر منجمد را مطالعه کردند. افزودن صمغ لوبیای لوکاست، بر میزان سفتی نان تهیه شده از خمیر منجمد تأثیر منفی داشت و تأثیر زیادی بر نسبت گسترش‌پذیری نان تهیه شده از خمیر منجمد نداشت. در مقابل ترانس گلوتامیناز به‌طور قابل توجهی سبب بهبود نسبت گسترش‌پذیری و سفتی نان حاصل از خمیر منجمد شد

سفتی بافت کوکی حاصل از خمیر منجمد طی دوره نگهداری و شرایط مختلف انجماد

شکل 2 سفتی بافت کوکی را طی 8 هفته نگهداری در شرایط انجماد و سرعت‌های مختلف انجماد را نشان می‌دهد.



شکل 2- سفتی بافت کوکی حاصل از خمیر منجمد طی دوره نگهداری در شرایط انجماد و شرایط مختلف انجماد.

تیرک‌های ترسیم شده روی نقاط، نشان‌دهنده انحراف استاندارد داده‌های اندازه‌گیری شده است. حروف آماری مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای مختلف است

همان‌طور که دیده می‌شود با افزایش زمان نگهداری سفتی بافت کوکی به طور معنی‌داری ($P\leq0.05$) افزایش یافت. علت این

امر رشد کریستال‌های یخ و تبلور مجدد کریستال‌های یخ طی دوره نگهداری است که سبب آسیب به بافت خمیر می‌شود (Havet *et al*., 2000) و بعد از مرحله انجمادزدایی آب آزاد خارج شده از خمیر افزایش و آب قابل اتصال کاهش می‌یابد که همین امر سبب می‌شود بعد از مرحله پخت خروج آب به‌صورت بخار کمتر صورت گیرد و در نتیجه تخلخل و نرمی بافت کاهش یافت. محققان یکی از عوامل مؤثر بر نرمی بافت محصولات نانوایی را وجود رطوبت بالا در این محصولات می‌دانند و وجود ارتباط معکوس بین سفتی و محتوای رطوبت مغز نان را تأیید نمودند (Shittu *et al*., 2008). کوکی‌های حاصل از انجماد سریع بافت نرم‌تری داشتند؛ زیرا فرآیند انجماد سریع سبب تکمیل کریستال‌های ریز یخ شده و آسیب به بافت خمیر را کاهش می‌دهد و باعث کاهش خروج آب به حالت آزاد از خمیر بعد از مرحله انجمادزدایی می‌شود. Jinhee و William (2009) و همکاران اثر ترکیبی انجماد و شرایط نگهداری بر خصوصیات کیفی نان حاصل از خمیر منجمد را بررسی کرده، شاهد افزایش سفتی در تمامی نمونه‌ها بودند.

همان‌طور که در شکل 2 مشاهده می‌شود در طی 8 هفته نگهداری خمیر منجمد، کوکی‌های حاوی آرد سورگوم اکسترود شده سفتی بافت کمتری داشتند و کوکی‌های حاوی سورگوم اکسترود نشده بیشترین میزان سفتی بافت را دارا بودند؛ و علت امر مربوط به فرآیند اکستروژن است که سبب افزایش جذب آب خمیر شده و از این طریق میزان آب قابل اتصال افزایش یافت و در نتیجه کوکی حاصل بافت نرم‌تری داشت. در نمونه‌های حاوی آرد سورگوم اکسترود نشده نیز به دلیل محتوای رطوبت پایینی که دارد، اضافه کردن صمغ زانتان سبب افزایش جذب آب خمیر شد و باعث کاهش آسیب‌های ناشی از انجماد شد.

رنگ کوکی حاصل از خمیر منجمد طی دوره نگهداری و شرایط مختلف انجماد

ویژگی‌های مربوط به رنگ کوکی حاصل از خمیر منجمد کوکی طی 8 هفته و شرایط مختلف انجماد در جدول 3 مشاهده می‌شود.

جدول 3- تأثیر دوره نگهداری و شرایط مختلف انجماد بر پارامترهای رنگی کوکی حاصل از خمیر منجمد

نوع انجماد	تیمار	مدت زمان نگهداری طی انجماد (روز)	L*	a*	b*
انجماد کند	سورگوم	0	84/896±1/038a	-4/281±0/628b	20/172±0/897a
		14	79/479±1/436ab	-4/012±0/429c	19/186±0/875b
		28	72/864±0/328b	-3/927±1/021d	18/614±0/679c
		42	68/358±0/927bc	-3/419±0/826e	17/017±0/569d
		56	59/864±0/832c	-3/012±0/729f	16/279±0/974e
	سورگوم اکسترود شده	0	72/754±1/632b	-3/183±0/962f	16/826±0/649e
		14	67/533±0/821bc	-2/736±0/812g	16/212±0/396f
		28	60/643±0/927c	-1/837±0/723h	15/624±1/453g
		42	54/539±0/917cd	-1/183±0/672i	14/187±0/836h
		56	49/97±0/628d	-0/966±0/689j	13/361±0/973i
انجماد سریع	سورگوم	0	78/927±0/758ab	-5/875±0/829a	19/764±1/128b
		14	62/986±0/628c	-4/874±0/738ab	18/759±0/826c
		28	62/986±0/678c	-3/563±0/692e	17/439±0/619d
		42	54/975±1/562cd	-3/109±0/819f	16/248±0/582e
		56	48/863±1/036d	-2/954±0/382g	15/356±0/729g
	سورگوم اکسترود شده	0	65/937±1/034bc	-3/986±0/937d	15/753±1/265g
		14	62/937±0/931c	-3/136±0/626f	14/854±0/942h
		28	53/927±0/829cd	-2/984±0/735g	13/785±0/346i
		42	46/937±0/758d	-2/875±0/812g	12/863±0/228j
		56	40/128±0/826de	-1/753±1/032h	12/238±0/627j

حروف آماری مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای مختلف است

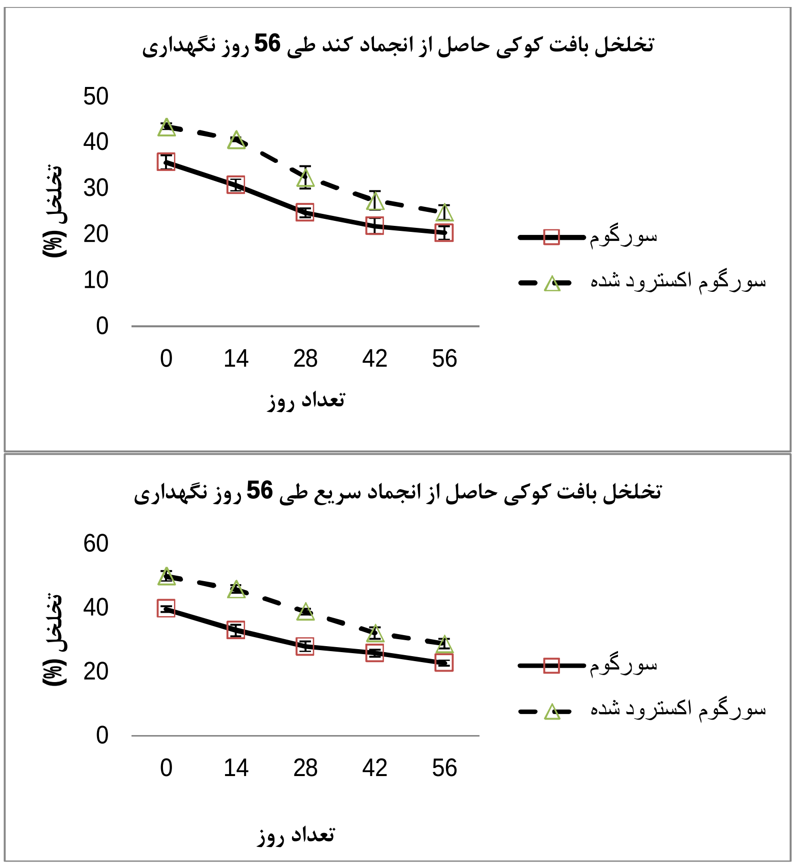
نتایج نشان داد که با افزایش مدت زمان نگهداری خمیر منجمد کوکی پارامتر *L کاهش یافت. علت این پدیده احتمالاً افزایش آمیلوز نشست کرده و دکسترین تجزیه در اثر آسیب به بافت خمیر و گرانول‌های نشاسته توسط کریستال‌های یخ می‌باشد که این امر باعث افزایش واکنش‌های مایلارد و در نتیجه کاهش روشنایی کوکی شد (Yi & Kerr, 2009). توزیع مجدد آب و در دسترس

بودن آن در خمیر منجمد، از دیگر عواملی هستند که می‌توانند در تیره شده رنگ کوکی، نقش مهمی داشته باشند (Yi & Kerr, 2009). Ginnou و Kessoglou (2003) و Yi و Kerr (2008) نیز بیان کردند که با نگهداری خمیرها به‌صورت منجمد، رنگ پوسته و مغز نمونه‌ها تیره‌تر شد. همچنین مشاهده شده کوکی‌های منجمد شده در شرایط انجماد سریع روشنایی کمتری نسبت نمونه‌های منجمد شده در شرایط انجماد کند داشت. Yi و Kerr (2008) بیان کردند که سرعت‌های انجماد بالاتر و دماهای پایین‌تر نگهداری خمیر به‌صورت منجمد سبب تیره‌تر شدن رنگ نمونه‌های شد.

طی دوره نگهداری خمیر منجمد پارامتر *b کوکی حاصل از آن کاهش یافت؛ که نشان‌دهنده زردی کمتر این نمونه‌ها بود و پارامتر *a افزایش یافت. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش سرعت انجماد پارامتر *b و *a کاهش یافت و رنگ این کوکی‌ها تیره‌تر بود. کوکی‌های حاوی آرد سورگوم اکسترود شده دارای کمترین میزان *L و *b و بیشترین میزان *a بود. واکنش‌های قهوه‌ای شدن مایلارد در حین فرآیند اکسترود کردن و کاراملیزاسیون قند هم می‌تواند ایجاد پیگمان‌های رنگی در حین پخت کند (Sacchetti *et al.*, 2004) و میزان روشنایی نمونه‌ها را کاهش دهد. علت این امر مربوط به ترکیبات و اجزا موجود در پوسته و یا هسته دانه سورگوم است که هرچه عمل آسیاب کردن کامل‌تر انجام گیرد، میزان این ترکیبات تیره نیز کم‌تر خواهد بود (Torres *et al.*, 1993).

تخلخل کوکی حاصل از خمیر منجمد طی دوره نگهداری و شرایط انجماد مختلف

همان‌طور که در شکل 3 مشاهده می‌شود با افزایش مدت زمان نگهداری خمیر منجمد کوکی تخلخل بافت کوکی به‌طور معنی‌داری ($P \leq 0.05$) کاهش پیدا می‌کند.



شکل 3- تخلخل بافت کوکی حاصل از خمیر منجمد طی دوره نگهداری در شرایط انجماد و شرایط مختلف انجماد.

تیرک‌های ترسیم شده روی نقاط، نشان‌دهنده انحراف استاندارد داده‌های اندازه‌گیری شده است. حروف آماری مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای مختلف است

البته طی دو هفته ابتدایی کاهش معنی‌داری نداشت و از هفته دوم به کاهش معنی‌داری داشت. طی نگهداری خمیر منجمد

کریستال‌های ریز یخ رشد پیدا می‌کنند و بزرگ‌تر می‌شوند و همچنین به دلیل نوسانات دمای حین نگهداری خمیر منجمد در شرایط انجماد ممکن تبلور مجدد کریستال‌های یخ روی دهد، این عوامل سبب آسیب به بافت خمیر می‌شود و بعد از مرحله خروج از انجماد آب آزاد بیشتری از نمونه خارج می‌شود و میزان آب قابل اتصال کاهش می‌یابد و در مرحله پخت خروج آب به صورت بخار کمتر اتفاق می‌افتد و تخلخل بافت کوکی کاهش می‌یابد.

افزایش سرعت انجماد خمیر نیز مطابق شکل 3 باعث افزایش تخلخل بافت کوکی حاصل از خمیر منجمد شد. این پدیده احتمالاً به دلیل تشکیل کریستال‌های کوچک یخ در انجماد سریع و آسیب کمتر به بافت خمیر و گرانول‌های نشاسته می‌باشد (Meziani *et al*., 2011; Angioloni *et al*., 2008) بنابراین، توانایی خمیر در حفظ آب قابل اتصال افزایش یافته و خروج آب در اثر پخت بیشتر صورت می‌گیرد و تخلخل افزایش می‌یابد. همچنین حضور صمغ زانتان می‌تواند آسیب‌های ناشی از انجماد را از طریق جذب آب بیشتر و ایجاد خمیر پایدارتر بهبود می‌بخشد (Vania& Weibiao, 2007; Rosell *et al*., 2001). Mandala (2005) نیز گزارش کردند که در نتیجه افزودن صمغ زانتان به فرمول خمیر منجمد اثر منفی انجماد بر تخلخل نان کاهش یافت.

نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که تخلخل بافت کوکی‌های حاصل از خمیر منجمد حاوی آرد سورگوم اکسترود شده به‌طور معنی‌داری ($P\leq0.05$) بیشتر بود. همان‌طور که ذکر شد فرآیند اکستروژن سبب افزایش اندیس جذب آب می‌شود پاتیل و همکاران (2016) بیان کردند که رطوبت بالا در نان حاوی ارزن اکسترود شده مربوط به اندیس جذب آب بالای آرد ارزن اکسترود شده است؛ بنابراین کوکی‌های حاصل از آرد اکسترود شده رطوبت بالاتری نسبت به نمونه‌های اکسترود نشده داشتند و این امر سبب افزایش تخلخل شد. به‌طور کلی هر چه میزان رطوبت بالاتر باشد در حین پخت خروج رطوبت سریع‌تر و بیش‌تر صورت می‌گیرد و در نتیجه درصد تخلخل نیز افزایش می‌یابد آرد سورگوم به دلیل داشتن رطوبت پایین و عدم حضور گلوتن نمی‌تواند تخلخل بافت مناسبی ایجاد کند. البته حضور صمغ زانتان سبب افزایش رطوبت خمیر می‌شود و میزان آب قابل اتصال را افزایش می‌دهد و تخلخل بافت را در این نمونه‌ها بهبود می‌بخشد

قطر پوسته کوکی حاصل از خمیر منجمد طی دوره نگهداری و شرایط مختلف انجماد

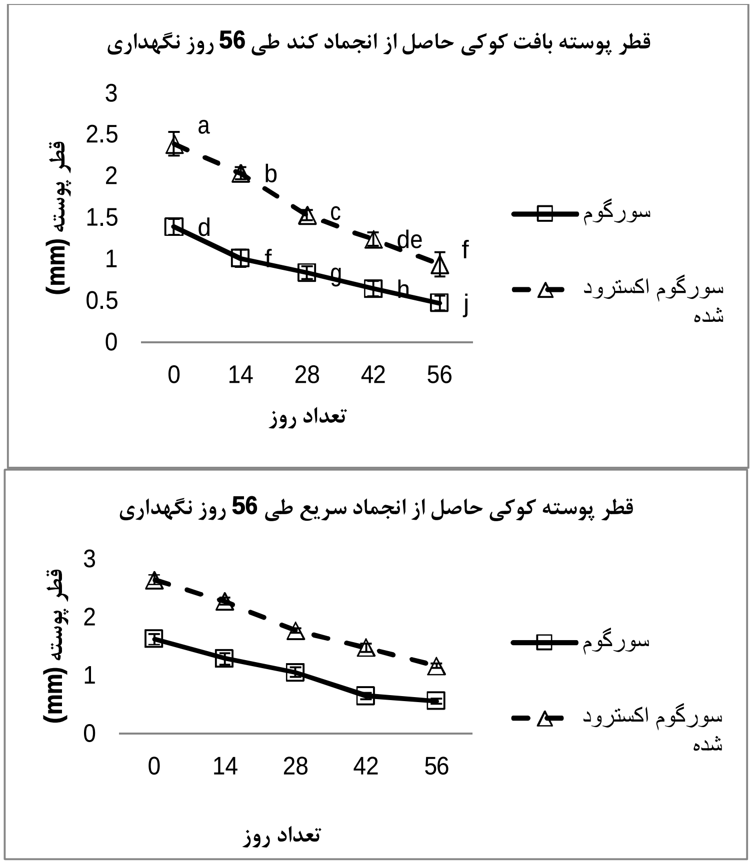
همان‌طور که در شکل 4 مشاهده می‌شود با افزایش مدت زمان نگهداری خمیر منجمد کوکی قطر پوسته کوکی به‌طور معنی‌داری ($P\leq0.05$) کاهش پیدا کرد. طی نگهداری خمیر منجمد کریستال‌های ریز یخ رشد پیدا می‌کنند و بزرگ‌تر می‌شوند و همچنین به دلیل نوسانات دمای حین نگهداری خمیر منجمد در شرایط انجماد ممکن تبلور مجدد کریستال‌های یخ روی دهد، این عوامل سبب آسیب به بافت خمیر می‌شود و بعد از مرحله خروج از انجماد آب آزاد بیشتری از نمونه خارج می‌شود و میزان آب قابل اتصال کاهش می‌یابد و هرچه میزان رطوبت اولیه نمونه‌ها کمتر باشد در مرحله پخت خروج آب به‌صورت بخار کمتر اتفاق می‌افتد و پوسته با قطر کمتر و کندتر تشکیل می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش سرعت انجماد خمیر، قطر پوسته کوکی نیز افزایش پیدا کرد و علت امر کاهش آسیب‌های ناشی از انجماد از طریق کریستال‌های یخ کوچک‌تر و یکنواخت‌تر بود.

همان‌طور که مشاهده می‌شود (شکل 4) نمونه حاوی آرد سورگوم اکسترود شده به‌طور معنی‌داری بیشتر بود و علت این امر فرآیند اکستروژن است که سبب افزایش اندیس جذب آب خمیر می‌شود و از این طریق میزان آب قابل اتصال را افزایش می‌دهد. همچنین کوکی حاوی آرد سورگوم اکسترود نشده قطر پوسته کمتری داشت و علت این امر پایین بودن محتوی رطوبت آرد سورگوم و کاهش میزان آب قابل اتصال طی دوره نگهداری در شرایط انجماد است.

آنالیز حسی کوکی حاصل از خمیر منجمد طی دوره نگهداری و شرایط مختلف انجماد

نتایج مربوط به آنالیز حسی کوکی حاصل از خمیر منجمد طی دوره نگهداری 8 هفته‌ای و شرایط مختلف انجماد در جدول 4 نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد امتیاز مربوط به رنگ کوکی با افزایش مدت زمان نگهداری کوکی کاهش یافت و در هفته آخر امتیاز کسب شده 3≥ بود. تردی، تخلخل، آروما و طعم و پذیرش کلی نیز با افزایش مدت زمان نگهداری خمیر منجمد امتیاز کمتری به‌دست آورند. در واقع طی دوره نگهداری خمیر منجمد در شرایط انجماد به دلیل رشد کریستال‌های یخ و تبلور مجدد کریستال‌های بافت آسیب به بافت خمیر بیشتر می‌شود و میزان آب قابل اتصال خمیر کاهش می‌یابد و در نتیجه ویژگی‌های حسی کوکی امتیاز کمتری کسب کردند. مطابق نتایج به‌دست آمده با افزایش سرعت انجماد امتیاز، ویژگی‌های حسی نیز بهبود یافتند. انجماد سریع از طریق ایجاد کریستال‌های ریز و یکنواخت آسیب کمتری به بافت خمیر وارد می‌کند و باعث بهبود ویژگی‌های حسی کوکی حاصل از خمیر منجمد می‌شود. Annika و همکاران (2011) بیان کردند که خصوصیات حسی نان‌های حاصل از خمیر منجمد به طور معنی‌داری تحت تأثیر دمای نگهداری خمیر (10-، 15- و 20-) در مدت انجماد بود. این محققان تفاوت معنی‌داری در طعم، بو و الاستیسته بین نمونه‌های نگهداری شده در دماهای 10- و 15- درجه سانتی‌گراد مشاهده کردند. همان‌طور که در جدول 4 مشاهده می‌شود

کوکی‌های حاوی آرد سورگوم اکسترود شده امتیاز بالاتری از نظر پذیرش کلی داشته اما از نظر رنگ امتیاز پایین‌تری داشت که علت این امر افزایش واکنش‌های مایلارد طی فرآیند اکستروژن است. کمترین میزان امتیاز مربوط به نمونه‌های حاوی 100 درصد آرد سورگوم اکسترود نشده بود که به دلیل رطوبت پایین، بافت شنی و بافت سفت این نمونه‌ها بود و مشاهده شد با افزایش زمان نگهداری رنگ، تخلخل و آروما و طعم کوکی‌های حاصل از خمیر منجمد حاوی 100 درصد آرد سورگوم اکسترود نشده امتیازی پایین‌تر از 3 در شرایط انجماد کند به‌دست آورد.



شکل 4- قطر پوسته کوکی حاصل از خمیر منجمد طی دوره نگهداری در شرایط انجماد و شرایط مختلف انجماد.

تیرک‌های ترسیم شده روی نقاط، نشان‌دهنده انحراف استاندارد داده‌های اندازه‌گیری شده است. حروف آماری مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای مختلف است.

کنتیک انتقال جرم کوکی حاصل از خمیر منجمد طی دوره نگهداری و شرایط مختلف انجماد

جدول 5 تأثیر دوره نگهداری و شرایط انجماد بر ضریب نفوذ مؤثر رطوبت در کوکی‌های حاصل از خمیر منجمد را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که با افزایش مدت زمان نگهداری خمیر منجمد، ضریب نفوذ مؤثر کاهش یافت و مقدار آن برای کوکی تهیه شده با سورگوم اکسترود شده در روز اول $6/83 \times 10^{-7}$ و در روز 56 برابر با $4/97 \times 10^{-7}$ و برای انجماد کند بود. با افزایش سرعت انجماد به‌طور معنی‌داری ($P\leq0.05$) افزایش یافت. نمونه‌های حاوی سورگوم اکسترود شده به‌طور معنی‌داری ($P\leq0.05$) ضریب نفوذ مؤثر بیشتری نسبت به سایر نمونه‌ها داشت و مقدار آن برابر با $6/64 \times 10^{-7}$ با ضریب تبین 0/9271 برای انجماد کند و $6/83 \times 10^{-7}$ با ضریب تبیین 0/9874 برای انجماد سریع بود. همان‌طور که بیان شده کوکی‌های آرد سورگوم اکسترود شده چون دارای میزان رطوبت و تخلخل بیشتری است، ضریب نفوذ مؤثر در این نمونه‌ها بیشترین مقدار است؛ و کوکی‌های حاوی 100 درصد آرد سورگوم اکسترود نشده به دلیل داشتن رطوبت پایین‌تر و تخلخل کمتر، کمترین میزان ضریب نفوذ مؤثر را داشتند.

جدول 4- تأثیر دوره نگهداری و شرایط مختلف انجماد بر ویژگی‌های حسی کوکی حاصل از خمیر منجمد

نوع انجماد	تیمار	مدت زمان نگهداری طی انجماد (روز)	رنگ	تردی	تخلخل	آروما و طعم	پذیرش کلی
انجماد کند	سورگوم	0	4/2±0/54b	4±0/53c	4±0/54d	4/1±0/54c	4±0/59d
		14	3/9±0/63d	3/8±0/67d	3/5±0/93g	3/7±0/51f	3/7±0/37e
		28	3/4±0/82e	3/5±0/81e	3±0/82i	3/5±0/46g	3/4±0/81f
		42	2/9±0/29g	2/9±0/28h	2/8±0/73j	3/1±0/33h	3±0/26h
		56	2/5±0/44h	2/5±0/39i	2/5±0/61k	2/8±0/24i	2/7±0/36i
	سورگوم اکسترود شده	0	4±0/57c	4/4±0/58b	4/3±0/42b	4/4±0/49b	4/4±0/48b
		14	3/7±0/92d	4/1±0/23c	4±0/39d	4±0/52d	4/1±0/26c
		28	3/1±0/42d	3/9±84d	3/8±0/71e	3/7±0/39f	3/8±0/38e
		42	2/9±0/39g	3/6±0/92e	3/5±0/84g	3/5±0/62g	3/4±0/49f
		56	2/4±0/27h	3/2±0/38f	3/3±0/62g	3/2±0/29h	3/2±0/62g
انجماد سریع	سورگوم	0	4/5±0/24a	4/3±0/49b	4/1±0/84c	4/3±0/82b	4/4±0/52b
		14	4±0/68c	3/9±0/51d	3/7±0/88e	4±0/44d	4±0/37d
		28	3/6±0/71d	3/4±0/44e	3/2±0/76h	3/8±0/63e	3/6±0/41f
		42	3/3±0/61f	3±0/35g	3±0/39i	3/5±0/81g	3/3±0/52
		56	2/8±0/69g	2/8±0/48g	2/9±0/43i	3/2±0/76h	3±0/63
	سورگوم اکسترود شده	0	4/2±0/74b	4/7±0/39a	4/5±0/39a	4/6±0/39a	4/6±0/52a
		14	3/9±0/52c	4/3±0/23b	4/2±0/52c	4/2±0/48c	4/2±0/94c
		28	3/5±0/66e	4±0/34c	4±0/81d	4±0/52d	4±0/29d
		42	3/1±0/73f	3/8±0/48d	3/9±0/93d	3/8±0/36e	3/8±0/51e
		56	2/6±0/29h	3/5±0/42e	3/7±0/39e	3/5±0/29g	3/5±0/88f

حروف آماری مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای مختلف است

جدول 5- تأثیر دوره نگهداری و شرایط مختلف انجماد بر ضریب نفوذ مؤثر کوکی حاصل از خمیر منجمد

نوع انجماد	تیمار	مدت زمان نگهداری طی انجماد (روز)	$K\times10^{-2}$ (s^{-1})	Deff $\times10^{-7}$ (m^2/s)	R^2
انجماد کند	سورگوم+1% زانتان	0	3.39	2.63	0.9275
		14	3.12	2.16	0.8291
		28	2.65	1.84	0.9271
		42	2.25	1.37	0.7917
		56	2.02	1.24	0.8291
	سورگوم اکسترود شده+ 1% زانتان	0	5.61	6.64	0.9271
		14	5.16	6.22	0.8725
		28	4.86	5.68	0.7926
		42	4.31	5.39	0.9285
		56	4.19	4.97	0.9283
انجماد سریع	سورگوم+1% زانتان	0	3.54	2.86	0.9764
		14	3.28	2.31	0.8659
		28	2.84	2.17	0.9874
		42	2.49	1.83	0.8765
		56	2.17	1.49	0.9874
	سورگوم اکسترود شده+ 1% زانتان	0	5.83	6.83	0.9874
		14	5.52	6.38	0.9528
		28	5.13	5.97	0.7984
		42	4.76	5.58	0.9813
		56	4.32	5.34	0.9372

نتیجه‌گیری

در این تحقیق تأثیر روش‌های انجماد و مدت زمـان نگهـداری خمیر منجمد کوکی بر ویژگی‌های فیزیک و شیمیایی کوکی حاوی

100 درصد آرد سورگوم اکسترود شده و نشده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان دادند که سرعت انجماد بر ویژگی‌های فیزیک و شیمیایی کوکی حاصل از خمیر منجمد مؤثر بود، به‌طوری که تمامی ویژگی‌های فیزیک و شیمیایی (به‌جز پارامتر روشنایی رنگ کوکی) و حسی نمونه‌های حاصل از انجماد سریع از کیفیت بهتری برخوردار بودند. نتایج نشان داد که کوکی حاوی آرد سورگوم اکسترود شده نیز طی 8 هفته نگهداری از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی (به‌جز روشنایی رنگ کوکی) و حسی مطلوب‌تری برخوردار بود و دلیل این امر فرآیند اکستروژن بود که سبب افزایش اندیس جذب آب می‌شود و این ویژگی‌ها را بهبود می‌بخشد. نتایج مربوط به کنتیک انتقال جرم کوکی حاصل از خمیر منجمد نشان داد که ضریب نفوذ مؤثر کوکی با افزایش مدت زمان نگهداری خمیر منجمد در شرایط انجماد کاهش یافت. در مجموع نتایج نشان دادند که فرآیند اکسترود کردن آرد سورگوم سبب بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی کوکی شده است و فرآیند انجماد سریع باعث بهبود کیفیت کوکی حاصل از خمیر منجمد شده است و در این شرایط می‌توان از آرد سورگوم اکسترود شده به‌عنوان جایگزین مناسب گندم برای تولید کوکی استفاده کرد. همچنین استفاده از خمیر منجمد برای تولید کوکی می‌تواند روش مناسبی برای عرضه این محصول باشد.

منابع

قیطران‌پور، آ. ،1392، بررسی تأثیر افزودن ایزوله پروتئین سویا بر کنتیک انتقال جرم، ویژگی‌های فیزیکی و روند انتقال جرم در آن، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، گروه علوم و صنایع غذایی.

غیور اصلی، م. ع. ، حداد خداپرست، م. ح. و کریمی، م، 1387، تأثیر آنزیم آلفا آمیلاز و اسید اسکوربیک و بر خصوصیات رئولوژیکی خمیر و حجم مخصوص نان اشترودل، مجله پژوهش‌های عاوم و صنایع غذایی ایران، 55- 47.

Angioloni, A., Balestra, F., Pinnavaia, G.G., & Rosa, M.D., 2008, Small and large deformation tests for the evaluation of frozen dough viscoelastic behavior, *Journal of Food Engineering*, 87 (4), 527-531.

Annika, A., Ayse, A., & Ulf, S., 2011, Influence of bread preparation, frozen storage temperature and time, and fiber content, Sensory Evaluation of Bread., Master of Science Thesis in the Master Degree Programme Biotechnology, Ayse Alp Department of Chemical and Biological Engineering, Division of food Science, Chalmers University Of Technology, Goteborg, Sweden.

Asghar, A., Anjum, F. M., Butt, M. S., & Hussain, S., 2007, Shelf Life and Stability Study of Frozen Dough Bread by the Use of Different Hydrophillic Gums, *International*. *Journal of Food Engineering*, 2-3.

Awika, J. M., & Rooney, L. W., 2004, Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health, *Phytochemistry*, 65 (9), 1199-1221.

Bassinello, P.Z., Freitasb, D.D.G.C., Ascherib, J. L. R., Takeitib, C. Y., Carvalhoa, R. N., Koakuzua, S.N., & Carvalhoc, A. V., 2011, Characterization of cookies formulated with rice and black bean extruded flours, Procedia *Food Science*, 1, 1645 – 1652.

Caray, J.A., & Bemiller, J.N., 2003, Bread Staling:Moleculur Basis and control.Comprehensive, *Reviews in Food Science and Food Safety*, 2, 1-3.

Dendy, D.A.V., 1995, Sorghum and the millets: Production and importance, Pages 11-26 in: Sorghum and Millets, Chemistry and Technology. *AACC International*: St. Paul, MN.

FAOSTAT Agriculture Statistics Database, 2004, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), *Rome*, Italy.

Faraj, A., Vasanthan, T., & Hoover, R., 2004, The effect of extrusion cooking on resistant starch formation in waxy and regular barley flours, *Food Research International*, 37, 517–525.

Fasano, A., and Catassi, C., 2001, Current approaches to diagnosis and treatment of celiac disease: An evolving spectrum, *Gastroenterology*, 120,636-651.

Gambus, H., Sikora, M., & Ziobro, R., 2007, The effect of composition of hydrocolloids on properties of gluten-free breads, ACTA Scientiarum Polonorum - *Technologia Alimentaria*, 6, 61-74.

Gallagher, E., Gormley, T.R., & Arendt, E.K., 2004, Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products, *Trends in Food Science and Technology*, 15, 143-152.

Giannou, V., & Tzia, C., 2007, Frozen dough bread: Qualitt and textural behavior during prolonged storage – Prediction of final product characteristics, *Journal Food Engineering*, 79 (3), 929–934.

Ginnou, V., & Kessoglou, V., 2003, Quality and safety characteristics of bread made from frozen dough, *Journal of Food science & Technology*, 14, 99-108.

Gray, J., & Bemiller J., 2003, Bread staling: molecular basis and control, Rev in Food Science and Food Safety, 2, 1-21.

Guptaa, M., Bawa, A.S., & Abu-Ghannam, N., 2011, Effect of barley flour and freeze–thaw cycles on textural nutritional and functional properties of cookies, food and bioproducts processing, 89, 520–527.

Havet, M., Mankai, M., & Le Bail, A., 2000, Influence of the freezing condition on the baking performances of French frozen dough, *Journal of Food Engineering*, 45 (3), 139-145.

Herbert, W., 2006, Chemistry of gluten proteins, *Journal of Food Microbiology*, 240, 115-119.

X.u, H.N., Huang, W., Jia, C., Kim, Y., & Liu, H., 2009, Evaluation of water holding capacity and breadmaking properties for frozen dough containing ice structuring proteins from winter wheat, *Journal of Cereal Science*, 49, 250–253.

Ilo, S., Schoenlechner, R., & Berghofe, E., 2000, Role of lipids in the extrusion cooking processes, *Grasas* y Aceites, 51(1-2), 97-110.

Jafari, M. Koocheki, A., & Milani, E., 2017, Effect of extrusion cooking on chemical structure, morphology, crystallinity and thermal properties of sorghum flour extrudates, *Journal of Cereal Science*, 75, 324-331.

Jia, C., Huang, W., Abdel-Samie, M.A.S., Huang,G., & Huang,G., 2011, Dough rheological, Mixolab mixing, and nutritional characteristics of almond cookies with and without xylanase, *Journal of Food Engineering*, 105, 227–232.

Jinhee, Y.i., & William, L. K., 2009, Combined effects of dough freeing and storage conditions on bread quality factors, *Journal of Food Engineering*, 93, 495-501.

Ke, S., Hailong, Y.u., & Tung-Ching, L., 2013, A novel approach for improving yeast viability and baking quality of frozen dough by adding biogenic ice nucleators from Erwinia herbicola, *Journal of Cereal Science*, 57, 237- 243.

Kim, Y. S., Huang, W., DU, G., Pan, Z., & Chung, O., 2008, Effects of trehalose, transglutaminase, and gum on rheological, fermentation, and baking properties of frozen dough, *Food research international*, 41, 903-908.

Koushki, M.R., Khoshgozaran Abras, S., & Azizi, M.H., 2011 Effect of flour type, freezing method and storage time on the quality of Barbari bread made from frozen dough, *Iranian Journal Nutriton Science Food Technology*, 5(4); 65–74 [in Persian].

Ktina, K., Salmenkallio-Marttila, M., Partanen, R., Forssell, P., & Autio, K., 2006, Effects of sourdough and enzymes on staling of high-fibre wheat bread, *LWT-Food Science Technology*, 39:479-491.

Mandala, I. G., 2005, Physical properties of fresh and frozen, microwave-reheated breads, containing hydrocolloids, *Journal of food engineering*, 66, 291-300.

Martínez, M. M., Oliete, B., Román, L., & Gómez, M., 2014, Influence of the addition of extruded flours on rice bread quality, *Journal of Food Quality*, 37(2), 83-94.

Matuda, T. G., Chevallier, S., Filho, P., Lebail, A., & Tadini, C. C., 2008, Impact of guar and xanthan gums on proofing and calorimetric parameters of frozen bread dough, *Journal of cereal science*, 48, 741-746.

Meziani, S., Jasniewski, J., Gaiani, C., Ioannou, I., Muller, J. M. Ghoul, M., & Desobry, S., 2011, Effects of freezing treatments on viscoelastic and structural behavior of frozen sweet dough, *Journal of Food Engineering*, 107, 358–365.

Meziani, S., Jasniewski, J., Gaiani, C., Ioannou, I., Muller, J. M. Ghoul, M., & Desobry, S., 2011, Effects of freezing treatments on viscoelastic and structural behavior of frozen sweet dough, *Journal of Food Engineering*, 107, 358–365.

Meziani, S., Jasniewski, J., Ribotta, P., Arab-Tehrany, E., Muller, J.M., Ghoul, M., & Desobry, S., 2012, Influence of yeast and frozen storage on rheological, structural and microbial quality of frozen sweet dough, *Journal of Food Engineering*, 109, 538–544.

Naji-Tabasi, S., & Mohebbi, M., 2014, Evaluation of cress seed gum and xanthan gum effect on macrostructure properties of gluten-free bread by image processing, *Food Measure*, DOI 10.1007/s11694-014-9216-1.

Nakamura, T., Takagi, H., & Shima, J., 2009, Effects of iceseeding temperature and intracellular trehalose contents on survival of frozen Saccharomyces Cerevisiae cells, *Cryob-iology*, 58(2), 170– 174.

Patil, S.S., Rudra, S.G., Varghese, E., & Kaur, C., 2016, Effect of extruded finger millet (Eleusin coracan L.) on textural properties and sensory acceptability of composite bread, *Food Bioscience*, 14(2), 62-69.

Paykary M., Karim R., Aghazadeh M., & Kazemi M., 2012, Gluten free extruded products: a review, International conference on agricultural and food engineering for life (Cafei2012) 26-28 November 2012.

Ribotta, P.D., Pérez, G.T., León, A.E., & Añón, M.C., 2004, Effect of emulsifier and guar gum on micro structural, rheological and baking performance of frozen bread dough, *Food Hydrocolloids*, 18, 305–313.

Riha, W. E., Hwang, C. F., Karwe, M. V., Hartman, T. G., & Ho, C. T., 1996, Effect of cysteine addition on the volatiles of extruded wheat flour, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44, 1847–1850.

Ronda, F., GÃmez, M., Blanco, C.A., & Caballero, P.A., 2005, Effects of polynondigestible oligosaccharides on the quality of sugar-free sponge cakes, *Food Chemistry*, 90, 549-555.

Rooney, L.W., & Waniska, R.D., 2000, Sorghum food and industrial utilization, Pages 689-750 in: Sorghum: Origin, History, Technology, and Production. C.W. Smith and R. A. Frederiksen, eds. John Wiley and Sons: New York.

Rosell, C.M,. Rojas, J. A., & Benedito, C., 2001, Combined effect of different antistaling agents on the Pasting properties of wheat flour, *European Food Research and Technology*, 212, 473-476.

Sacchetti, G., Pinnavaia, G.G., Guidolin, E., & Dalla Rosa, M., 2004, Effects of extrusion temperature and feed composition on the functional, physical and sensory properties of chestnut and rice flour based snack-like products, *Food Research International*, 37, 527-534.

Sakin, M., Kaymak-Ertekin, F., & Ilicali, C., 2007, Simultaneous heat and mass transfer simulation applied to convective oven cupcake baking, *Journal of Food Engineering*, 83(3), 463-474.

Shittu, T. A., Dixon, A., Awonorin, S. O., Sanni, L. O., & Maziya-Dixon, B., 2008, Bread from composite Cassava-wheat flour, II: Effect of cassava genotype and nitrogen fertilizer on bread quality, *Food Reaserch International*, 41: 569-578.

Torres, P.I., Ramirez-Wong, B., Serna-Saldivar, S.O., & Rooney, L.W., 1993, Effect of sorghum flour addition on the characteristics of wheat flour tortillas, *Cereal Chemistry*, 70, 8-13.

Vania, O.S., & Weibiao, Z., 2007, Frozen bread dough: Effects of freezing storage and dough improvers, Journal of *Cereal science*, 45, 1-17.

Walker, S., Seetharaman, K., & Goldstein, A., 2012, Characterizing physicochemical changes of cookies baked in a commercial oven, *Food Research International*, 48, 249–256.

Yi, J., & Kerr, W.L., 2008, Combined effects of freezing rate, storage temperature, an storage time on the properties of frozen dough and baking performance of frozen dough, *Journal of Food science*, 42, 1474-1483.

Yi, J., & Kerr, W.L., 2009, Combined effects of freezing rate, storage temperature and time on bread dough and baking properties, *LWT - Food Science and Technology*, 42, 1474–1483.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 14, No. 5, Dec- Jan 2019, p. 847-864

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 14، شماره 5، آذر- دی 1397، ص. 864-847

Cookie from extruded sorghum flour: Effect of extrusion and freezing conditions on frozen dough and cookie quality

N. Hasanoor[1], M. Mohebbi [2*], A. Koocheki [2], E. Milani[3]

Received: 2018.02.12
Accepted: 2018.07.07

Introduction: Nowadays, frozen dough technology is used to produce bakery, pastry & cakes products. On the other hand, extrusion plays a role as a high-performance process in the food industry, which, given its unique characteristics, can replace many common methods of food processing. This study was carried out aimed to investigate the effect of freezing methods (slow and rapid) and the storage time of frozen dough under freezing conditions on physicochemical and sensory properties of extruded and non-extruded sorghum flour for producing a gluten-free product suitable for Coeliac patients.

Materials and methods: In this study, extruded sorghum flour (an extruder with a temperature of 150-160°C, a moisture content of 14%, a speed of 150 rpm, feeding of 40 grams per minute and circular matrix with a diameter of 5 mm and, in the last step, using a grinding mill and 0.599 mm mesh, flouring is done), non-extruded sorghum flour (100%), Xanthan gum (1% w/w) were used in cookie dough formulation. Two types of slow and fast freezing were used to freeze the dough of cookie. Slow freezing according to the method provided by X.u *et al*. (2009) and Ke *et al*. (2013). In a fast freezing method, rapid cooling rooms were used at -40°C for 30 minutes. After freezing, the samples were placed in polyethylene bags and stored for 0, 2, 4, 6 and 8 weeks in a refrigerator at -18°C (X.u *et al*., 2009). For the thaw process, dough pieces were placed in a refrigerator at + 4°C for 16 hours (Maizani *et al*., 2012). Baking was performed in a microwave oven at 180°C for 14 minutes. The properties of the final product, such as the ratio of expandability (AACC 10-52), textural properties (cookie texture were carried out using a TA.XTplus Texture Analyzer (Walker *et al*, 2012)), total gelatinization and enthalpy temperature(Using the DSC device and temperature range 7-157°C and heating temperature 10°C/min), color, percentage of porosity, shell thickness (Image processing technique and ImageJ software) and sensory evaluation were investigated in a completely randomized factorial. Statistical analysis of the results was done using a factorial arrangement of completely randomized design and comparison of the meanings using Duncan's multiple range tests at 5% level. Data analysis was performed with three replications using SPSS 18 software.

Results & discussion: The gelatinization temperature decreased with increasing times of storage; however, the total enthalpy of the process was increased. The results showed that with increasing freezing rate, the gelatinization temperature increased significantly ($P \leq 0.05$), and the total enthalpy of the process decreased and the cookie from frozen dough containing extruded sorghum flour has the highest gelatinization temperature and the minimum total enthalpy value. With increasing times of storage, the dough chewiness decreased significantly ($P \leq 0.05$) and the adhesion and stiffness of the dough texture increased. The dough chewiness increased with the increase in the freezing rate, however, the adhesion and stiffness of the dough texture decreased and cookie dough containing extruded sorghum flour resulted in a significantly higher chewiness and lower adhesion and stiffness ($P \leq 0.05$) of the texture compared to the non-extruded sorghum cookie flour in both methods of freezing. The extensibility ratio has significantly decreased ($P \leq 0.05$) with increasing the times of storage. The extensibility ratio of cookie was significantly increased with the increase in freezing rate ($P \leq 0.05$) and non-extruded sorghum flour samples showed a lower extensibility ratio relative to the extruded sorghum flour cookies. The dough freezing method also had a significant effect on the final cookie quality ($P \leq 0.05$). The stiffness of the cookie texture from the frozen dough decreased by increasing the dough freezing rate and its tissue was softer and cookie samples containing extruded sorghum flour have a significantly lower tissue stiffness

1. PhD student, Food Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
2. Professor, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
3. Assistant Professor, Department of Food Processing, Iranian Academic Centre for Education Culture and Research, Mashhad, Iran
(*Corresponding Author Email: mohebbi@um.ac.ir)

compared to other samples. The stiffness of the cookie tissue increased significantly (P≤0.05) with increasing times of storage. L^* parameter (lightness) significantly decreased (P≤0.05) with increasing the times of storage and decreased the yellowness factor (b^*) and increased the redness factor (a^*) significantly (P≤0.05) for the cookie made from frozen dough. The freezing rate had a significant effect (P≤0.05) on the lightness of the cookies. The parameters L^* and b^* decreased by increasing the freezing rate and the colors of these cookies were darker. Cookies containing extruded sorghum flour had the lowest level of L^* and b^* and highest level of a^*. The porosity% and thickness of crust of cookie decreased significantly (P≤0.05) with increasing times of storage. These parameters increased significantly with increasing freezing rate (P≤0.05) and tissue porosity and thickness of crust of cookies obtained from the frozen dough containing extruded sorghum flour was significantly higher (P≤0.05). The results of the kinetics of cookie mass transfer from frozen dough showed that the effective moisture diffusivity of cookie was reduced by increasing times of storage. Overall, the results showed that the process of extruding sorghum flour has improved the physicochemical properties of the cookie, and the fast freezing process improves the quality of the cookie made from frozen dough, and in this condition extruded flour sorghum can be used as a suitable alternative to wheat. Also, the use of frozen dough for cookie production can be a good way to supply this product.

Key words: cookie, sorghum flour, extrusion, freezing, mass transfer **kinetics**